

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
“КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Т. Ф. ГОРБАЧЕВА”

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине  
«Материаловедение» для студентов направлений 15.03.05.  
(151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств», 15.03.01. (150700.62)  
«Машиностроение», 27.03.02. (241000.62)  
«Энерго-и ресурсосберегающие процессы химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»; по дисциплине «Основы  
материаловедения» направления 27.03.02. (221400.62)  
«Управление качеством»  
всех форм обучения

**Составители Л. П. Короткова  
С. В. Лащнина**

Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 6 от 19.11.2014  
Рекомендованы к печати  
учебно-методической комиссией  
направления 15.03.05. (151900.62)  
Протокол № 4 от 19.11.2014  
Электронная версия находится  
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2014

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить структуру, свойства и термическую обработку инструментальных сталей для режущего, штампового и мерительного инструментов.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Инструментальные стали – это материалы для режущего, мерительного и штампового инструментов.

К ним предъявляются повышенные требования по **основным свойствам**: *твердости, теплостойкости* (способности сохранять твердость до определенной температуры), *износостойкости* (способности длительное время сохранять режущие свойства кромки в условиях трения), *прочности, ударной вязкости*; по **технологическим свойствам**: стали должны обладать *горячей пластичностью*, хорошо *обрабатываться резанием* в отожженном состоянии и *шлифоваться* в закаленном состоянии.

По теплостойкости стали подразделяются на:

- нетеплостойкие (с теплостойкостью до 200 °С);
- полутеплостойкие (с теплостойкостью 250÷400 °С);
- теплостойкие (с теплостойкостью 600 °С и выше).

Стали каждой группы характеризуются одним типом структуры и общими особенностями упрочняющей термической обработки. Свойства инструментальных сталей приведены в таблицах прил.1, 2, 3, 4.

### 2.1. Нетеплостойкие стали

Нетеплостойкие инструментальные стали подразделяют по основным и технологическим свойствам.

**По основным свойствам:**

- стали повышенной твердости ( $C \geq 0,7 \div 1,3\%$ );
- стали повышенной ударной вязкости ( $C = 0,4 \div 0,6\%$ ).

**По технологическим свойствам:**

- стали неглубокой прокаливаемости (углеродистые и низколегированные, содержащие  $Cr \leq 0,2 \div 0,7\%$  и  $V = 0,15 \div 0,30\%$ );

- стали повышенной прокаливаемости (легированные, содержащие  $Cr = 0,6 \div 1,7 \%$  и другие легирующие элементы, не более  $5 \%$ ).

### 2.1.1. Нетеплостойкие стали повышенной твердости

Это углеродистые стали – качественные У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13 и высококачественные У7А...У13А (ГОСТ 1435-99), а также низколегированные стали, содержащие до  $3 \div 5\%$  легирующих элементов: 9Х1, ХВ4Ф, 9ХС, ХВГ, ХВСГ, 6ХВС и др. (ГОСТ 5950-73), (прил.1).

Легирующие элементы в этих сталях растворяются в феррите и карбидах цементитного типа  $Me_3C$ , и вводят их в основном для повышения прокаливаемости ( $D_{кр}=10$  мм – у углеродистых и 20-50 мм – у легированных). По структурному признаку это стали перлитного класса (рис.1, а).

Термическая обработка (прил. 1) состоит из двух этапов: предварительная (обеспечение технологических свойств) и упрочняющая (обеспечение эксплуатационных свойств).

Предварительная термическая обработка нетеплостойких сталей направлена на получение структуры зернистого перлита с включениями вторичных карбидов зернистой морфологии. Она заключается либо в улучшении (закалка и высокий отпуск), либо в изотермическом отжиге.

Упрочняющая термическая обработка направлена на обеспечение максимальной твердости в результате мартенситного превращения за счет закалки и последующего низкотемпературного отпуска (рис. 2).

Температура закалки выбирается выше линии  $A_{c3}$  на  $30 \div 50$  °С для доэвтектоидных (полная закалка) и выше линии  $A_{c1}$  на  $30 \div 50$  °С (неполная закалка) для заэвтектоидных сталей. У легированных сталей температура закалки на  $20 \div 50$  °С выше за счет того, что легирующие элементы повышают критические точки  $A_{c3}$ ,  $A_{c1}$ . Закалку углеродистых сталей проводят в воде, легированных – в масле. Низкий отпуск проводят при  $160 \div 250$  °С (рис. 2). Его цель – снять внутренние напряжения и обеспечить превращение остаточного аустенита в мартенсит. Структура сталей после окончательной термообработки состоит из отпущенного мартенсита в доэвтектоидных или из отпущенного мартенсита с избыточными карбидами в заэвтектоидных сталях (рис. 1, б).

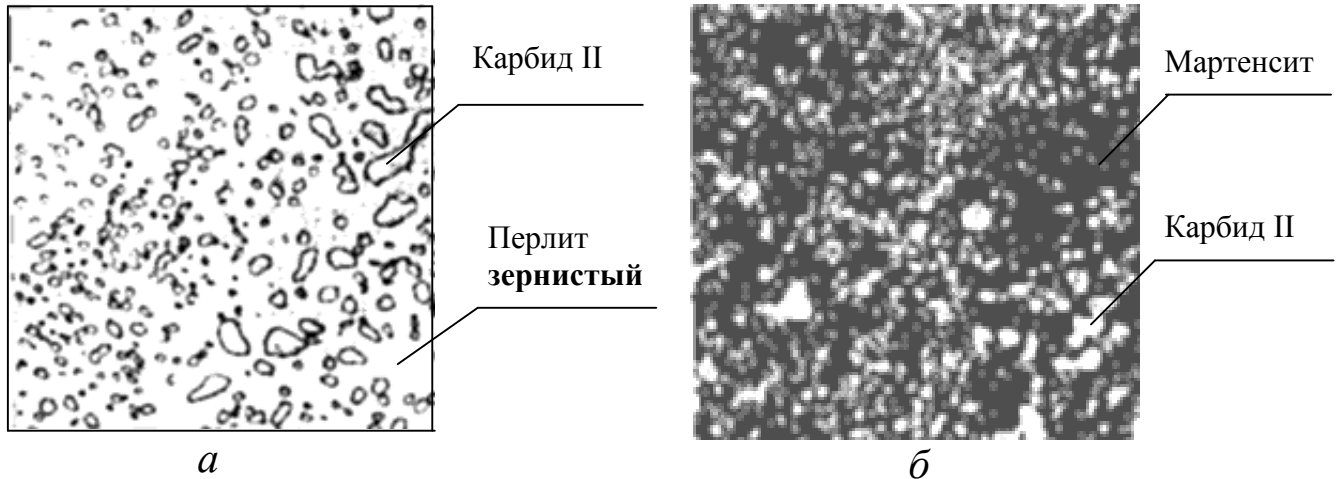


Рис.1. Структура теплостойких заэвтектоидных сталей повышенной твердости:

*а* – после изотермического отжига;

*б* – после закалки и низкого отпуска

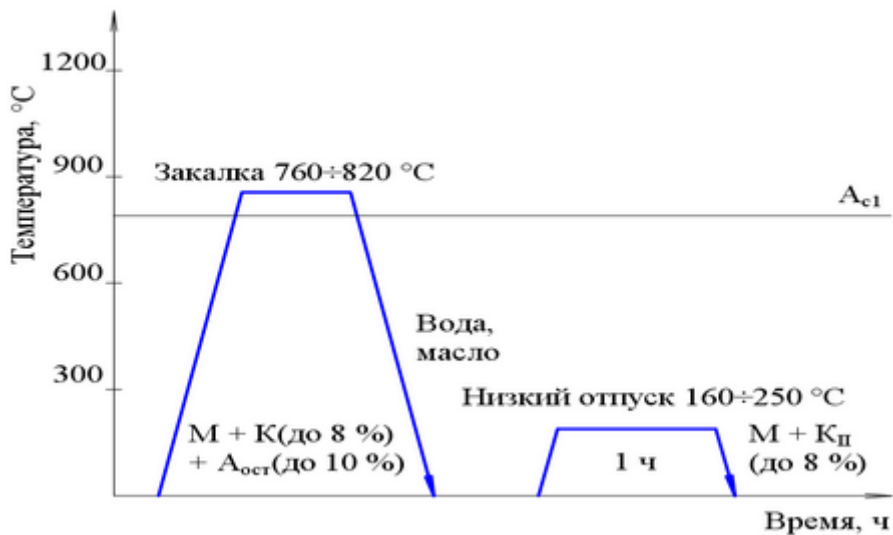


Рис. 2. Режим термической обработки нетеплостойких заэвтектоидных сталей

Нетеплостойкие стали используют для изготовления некоторого металлорежущего инструмента, работающего в условиях, не вызывающих разогрева режущей кромки: метчики ручные и машинные, плашки, развертки, надфили. Но чаще всего – для всевозможного деревообрабатывающего, слесарного инструментов, а также для штампов холодного деформирования и валков холодной прокатки. Стали с марганцем (ХВГ, ХВСГ) используются, благодаря минимальной деформации при термообработке, для изготовления стержневого инструмента сложной формы (протяжки, сверла) с сечением до 50 мм.

Легированные стали 9Х1, 9ХС, ХВГ, ХВСГ и др. применяются для мерительного инструмента. Как правило, это инструмент сложной формы, к которому предъявляются повышенные требования не только по твердости, но и по точности размеров, которые должны сохраняться в течение длительной эксплуатации. Поэтому их термическая обработка имеет особенности: закалка инструмента проводится в масле, и после закалки либо выполняется обработка холодом перед низким отпуском, либо увеличивается длительность низкого отпуска до 10 ч с целью ликвидации остаточного аустенита.

### *2.1.2. Нетеплостойкие стали повышенной ударной вязкости*

Это легированные стали перлитного класса с пониженным содержанием углерода ( $0,4 \div 0,6$  %). Основное назначение этих сталей – ударный инструмент, в том числе штамповый инструмент холодного деформирования, работающий без высоких давлений и разогрева.

По структурному признаку это стали перлитного класса: содержащие  $0,4 \div 0,5$ % С это доэвтектоидные, а  $0,6$ % С – эвтектоидные либо заэвтектоидные. Стали легируют хромом (до  $2,5$ %), кремнием (до  $1,5$ %) и карбидообразующим ванадием (до  $0,1 \div 0,3$ %). Цель легирования этих сталей заключается в снижении склонности к росту зерна при закалке и в увеличении устойчивости аустенита при охлаждении. Последнее делает возможным проведение изотермической закалки (прил.1).

Предварительная обработка сталей направлена на подготовку структуры перед упрочняющей обработкой и заключается в улучшении. Структура сталей в состоянии поставки состоит: из зернистого перлита (рис. 3, а), с небольшими включениями вторичных карбидов (если  $C \geq 0,6$ %); либо из зернистого перлита с небольшими включениями феррита (если  $C = 0,4 \div 0,5$ %).

Возможны два варианта упрочняющей термической обработки. Первый вариант заключается в изотермической закалке и последующем низком отпуске  $150 \div 160$  °С (рис. 4). Такая обработка обеспечивает получение бейнитной структуры (рис. 3, б) с твердостью  $45 \div 55$  HRC. В некоторых случаях используют второй вариант термообработки, который заключается в закалке со средним отпуском и проводится на структуру троостит. Первый вариант предпочтительней, т.к. обеспечивает повышенную вязкость инструменту.

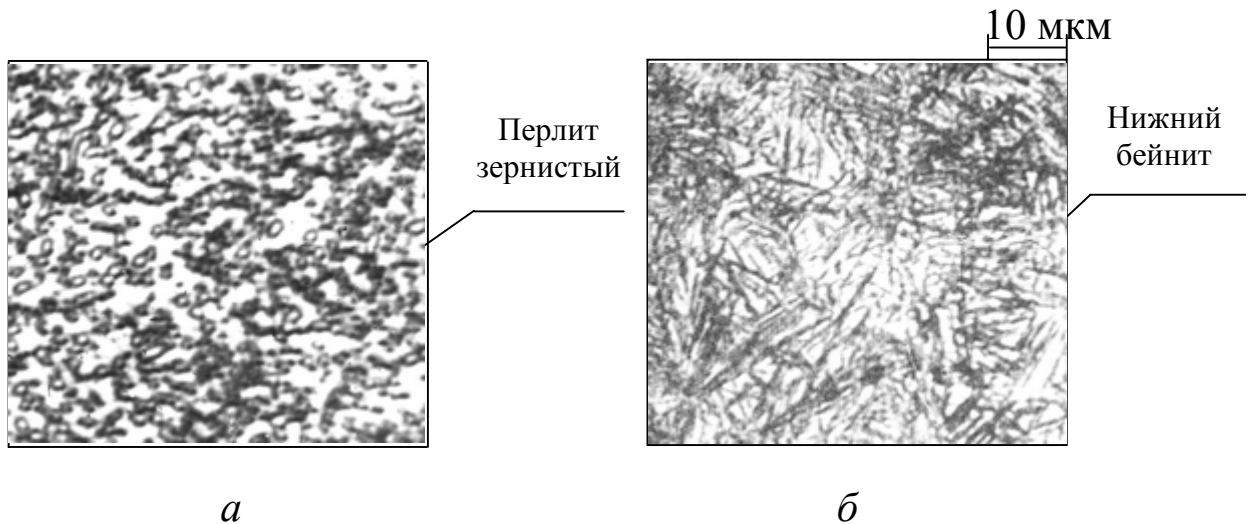


Рис. 3. Структура нетеплостойких сталей повышенной вязкости,  
*a* – после изотермического отжига;  
*б* – после закалки и низкого отпуска

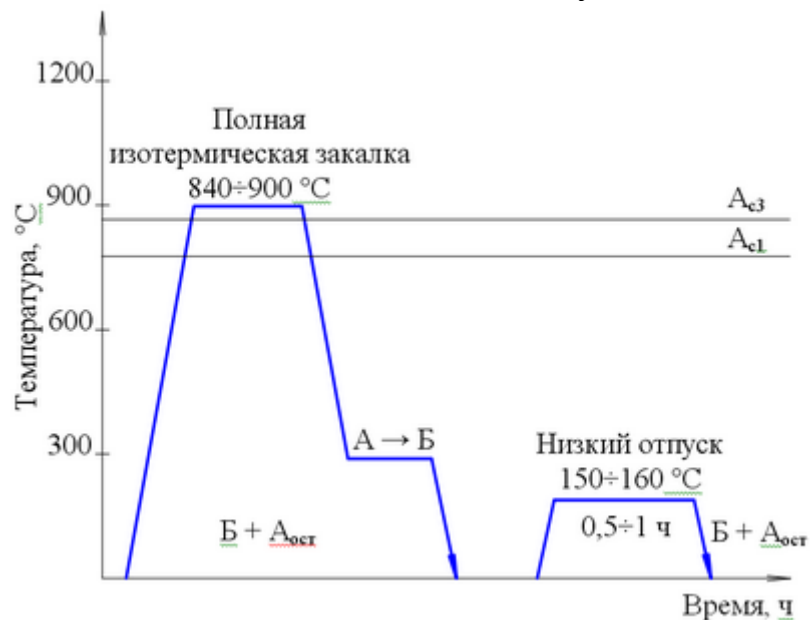


Рис. 4. Режим упрочняющей термической обработки нетеплостойких сталей повышенной вязкости

Для повышения износостойкости эти стали эффективно подвергать химико-термической обработки (азотирование, нитроцементация и др.), что обеспечивает значительное повышение поверхностной твердости без заметного снижения сопротивления хрупкому разрушению.

Инструментальные стали группы повышенной ударной вязкости предназначены для изготовления ударных инструментов: зубил, обжимок, вырубных, обрезанных и чеканочных штампов, рубиль-

ных ножей, штемпелей, клейм, прошивочного, деревообрабатывающего инструмента и т.д.

## 2.2. Полутеплостойкие стали

### 2.2.1. Штамповые стали холодного деформирования

Содержат повышенное количество углерода (до 2,2%) и отличаются повышенным количеством хрома (ГОСТ 5950-73). Находят применение стали с 12% Cr (X12, X12Ф1, X12ВМ, X12МФ) и с 6% Cr (X6ВФ, X6Ф4М, 8Х6НФТ, 9Х5ВФ), , прил. 2. Они относятся к сталям высокой прокаливаемости ( $D_{кр}$  до 200 мм).

По структурному признаку это стали ледебуритного класса, т.е. содержат в литом состоянии карбидную эвтектику. Для измельчения карбидной эвтектики и снижения балла карбидной неоднородности стали ледебуритного класса обязательно кууют. Затем для снижения твердости подвергаются изотерическому отжигу (прил. 2). В структуре отожженных сталей присутствуют зернистый перлит, первичные и вторичные карбиды хрома  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_6$  (рис.5, а). Карбидная неоднородность – это основной недостаток высокохромистых сталей (рис.5, б).

Основным механизмом упрочнения высокохромистых сталей является мартенситный. Их подвергают упрочняющей обработке (прил.2), которая состоит из высокотемпературной закалки с нагревом выше линии  $A_{сm}$  до  $1000 \div 1050$  °С и последующего низкого отпуска при  $180 \div 200$  °С с выдержкой 1 ч. (рис.6).

Высокотемпературный нагрев под закалку необходим, для обеспечения теплостойкости стали. За счет растворения вторичных карбидов хрома увеличивается легированность твердого раствора, а следовательно, термическая стойкость мартенсита. Температура нагрева под закалку ограничена размером зерна. Низкий отпуск используется для снятия внутренних напряжений и частичного превращения остаточного аустенита в мартенсит.

После упрочняющей термической обработки в структуре, наряду с мартенситом и карбидами (10÷15%), сохраняется повышенное количество остаточного аустенита (до 10%), что обеспечивает повышение ударной вязкости сталям. Твердость сталей понижена, т.к. не превышает 61÷62 HRC, теплостойкость высокохромистых сталей не превышает 400°С.

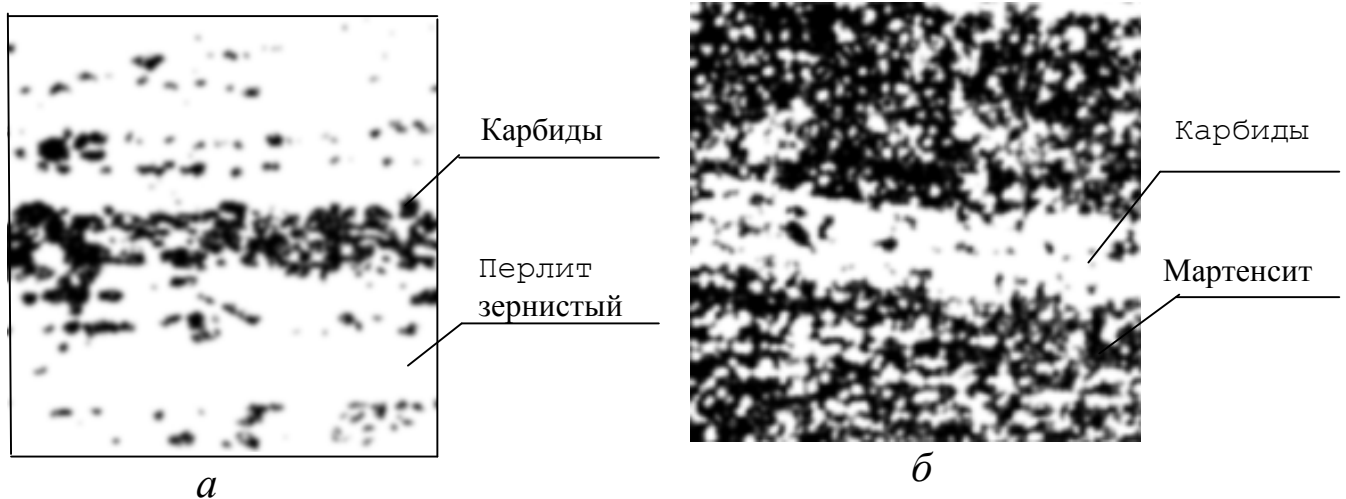


Рис. 5. Структура полутеплостойких сталей типа X12:  
 а – после отжига; б – после закалки и отжига

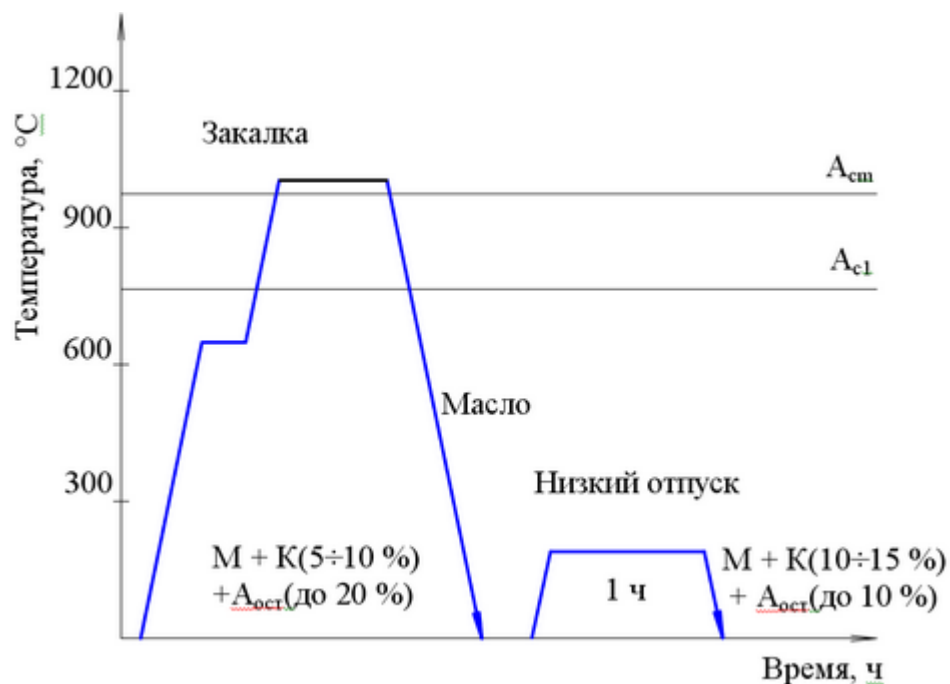


Рис. 6. Режим упрочняющей термической обработки полутеплостойких сталей (типа X12)

Основная область применения высокохромистых сталей – преимущественно тяжелонагруженные штампы холодного деформирования больших габаритных размеров и сложной формы.

Для режущего инструмента высокохромистые стали не применяют из-за наличия в структуре грубых карбидов хрома.



### 2.2.2. Полутеплостойкие штамповые стали горячего деформирования

**Стали для горячего деформирования** (ГОСТ 5950-73) подразделяют по уровню основных свойств (теплостойкости, вязкости):

- умеренной теплостойкости и повышенной вязкости с рабочей температурой до  $500\div 550$  °С (типа 5ХНМ, 5ХНВ);
- повышенной теплостойкости и повышенной вязкости с рабочей температурой до  $620\div 650$  °С (типа 4Х5МФС, 4Х5В2ФС);
- высокой теплостойкости с рабочей температурой до  $700\div 720$  °С (типа 3Х2В8Ф, 5Х3В3МФС),.

Это средне- и низкоуглеродистые стали ( $0.3\div 0.6\%$  С), для обеспечения высокой горячей прочности, вязкости, окалиностойкости, разгаростойкости они легированы никелем, марганцем и карбидообразующими элементами. По структуре стали умеренной теплостойкости относятся к сталям перлитного класса, а стали повышенной и высокой теплостойкости – к сталям карбидного класса (рис.7).

Теплостойкость сталей зависит от степени легированности твердого раствора и типа карбидных фаз. В структуре сталей умеренной теплостойкости преобладают карбиды железа типа  $M_3C$ ; в сталях повышенной теплостойкости – карбиды хрома типа  $M_{23}C_6$  и вольфрама –  $M_6C$ ; в сталях высокой теплостойкости – карбиды вольфрама, молибдена  $M_6C$  и ванадия  $MC$ .

Термическая обработка штамповых сталей горячего деформирования проводится на троостит. Заключается в закалке и средне-температурном отпуске. Структура троостит обладает повышенной вязкостью и теплостойкостью от  $500$  до  $700$  °С, зависит от степени легированности сталей и температуры отпуска (рис. 8). Назначение температуры закалки и температуры отпуска зависят от степени легированности сталей и условий эксплуатации инструмента (прил. 3).

**Штамповые стали умеренной теплостойкости и повышенной вязкости** 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГНМ содержат небольшое количество хрома, молибдена (вольфрама), никеля (примерно по одному проценту каждого). Характеризуются невысокой теплостойкостью до  $500\div 550$  °С. Благодаря легированию никелем (марганцем) стали имеют высокую прокаливаемость и характеризуются повышенной вязкостью, что позволяет использовать их для молотовых штампов больших размеров, работающих с ударными нагрузками (прил.3).

Применяется при штамповке цветных сплавов, углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса.



Рис. 7. Структура полутеплостойких штамповых сталей горячего деформирования (типа 5ХНМ)

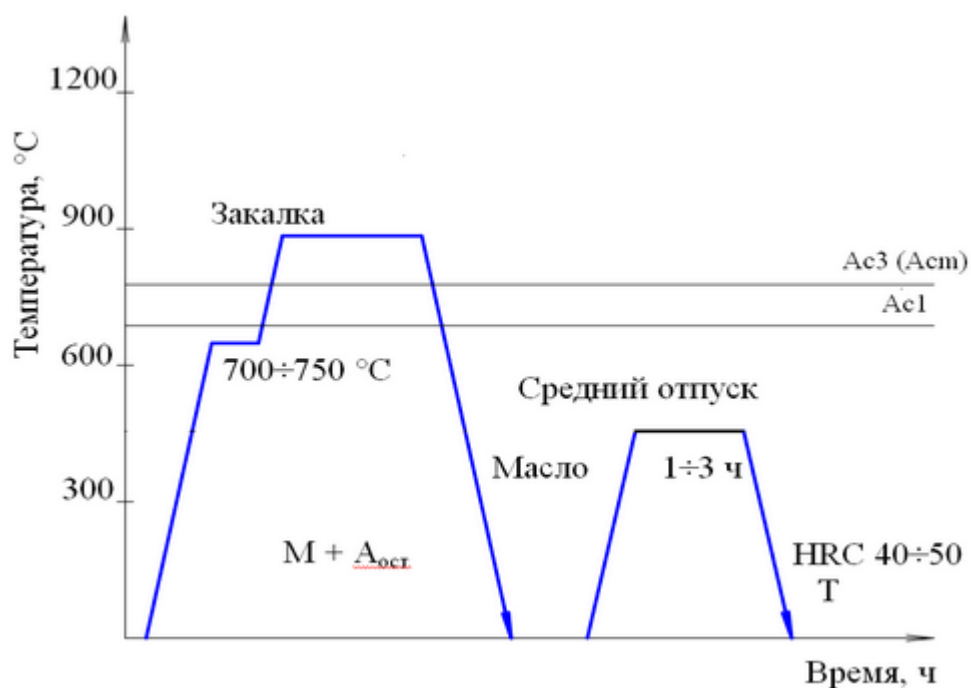


Рис. 8. Типовой режим упрочняющей термической обработки полутеплостойких сталей горячего деформирования перлитного класса

**Стали повышенной теплостойкости и вязкости 4Х5В2ФС, 4Х4ВМФС, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х2В2МФС** отличаются более высоким содержанием карбидообразующих элементов (до 2,5÷5,5% Cr, 2,0÷3,0% W и Mo, до 1,0% V). Это способствует

повышению теплостойкости (до  $620\div 650$  °С) и прочности, не приводя к заметному снижению ударной вязкости по сравнению со сталями умеренной теплостойкости (прил.3). Широко применяются при обработке труднодеформируемых материалов для: прессовых вставок, инструментов для высадки и выдавливания и пресс-форм, а так же для литья под давлением алюминиевых сплавов.

**К штамповым сталям высокой теплостойкости** относятся стали 3Х3М3Ф, 4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС, 3Х2В8Ф, 2Х6В8М2К8 и др., которые отличаются от сталей предыдущих групп более высокими концентрациями карбидообразующих элементов W, Mo, V в сумме до  $8\div 10\%$ , что приводит к увеличению теплостойкости до  $700\div 720$  °С и износостойкости, но сопровождается снижением вязкости (прил. 3). Их используют для изготовления тяжелонагруженных инструментов (диаметром или стороной до  $100\div 150$  мм) горячего объемного деформирования при обработке легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов на прессах и горизонтально-ковочных машинах, работающих в условиях повышенного разогрева и истирания, а так же литья под давлением сплавов на основе меди.

### 2.3. Теплостойкие стали

Называют быстрорежущими (прил.4). Это высоколегированные стали, содержащие углерод ( $1\div 2\%$ ), вольфрам ( $0\div 18\%$ ), молибден ( $0\div 6\%$ ), ванадий ( $1\div 5\%$ ), хром ( $3\div 4\%$ ), кремний ( $2\%$ ) (ГОСТ 19265-73). Быстрорежущие стали по теплостойкости подразделяются на три группы:

- умеренной теплостойкости  $610\div 620$  °С (вольфрамовые Р9, Р12, Р18 и вольфрамомолибденовые Р6М5, Р6М3, Р8М3 и др.);
- повышенной теплостойкости  $630\div 650$  °С (с повышенным содержанием кобальта Р6М5К5, Р9К5, Р9М4К8 и ванадия Р12Ф3, Р12Ф4К5, Р18К5Ф2, 10Р6М5К5 и др.);
- пониженной теплостойкости до  $610$  °С (Р2М2Ф3, Р0М4Ф).

Маркируют стали буквой Р, цифры после буквы указывают содержание основного легирующего элемента быстрорежущих сталей – вольфрама в целых процентах. Хром, кремний, ванадий, если последнего меньше  $2\%$ , в маркировке не указываются. В остальном маркировка быстрорежущих сталей не отличается от легированных.

Быстрорежущие стали по структурному признаку – стали ле-

дебуритного класса, т.е. содержат в литом состоянии карбидную эвтектику, в состав которой входят специальные карбиды хрома –  $\text{Me}_{23}\text{C}_6$ , вольфрама, молибдена –  $\text{Me}_6\text{C}$  и ванадия –  $\text{MeC}$  (рис.9, а).

Эвтектика значительно снижает механические свойства, поэтому перед отжигом слитки быстрорежущих сталей обязательно коуют. Благодаря этому технологическому приему, карбиды дробятся и равномернее распределяются в структуре. Даже после больших степеней деформации карбидная неоднородность сохраняется, что является основным недостатком структуры быстрорежущих сталей.

Отжиг быстрорежущих сталей проводят при температурах  $840\div 860$  °С с изотермической выдержкой в течение  $2\div 4$  часов при  $720\div 750$  °С. Структура сталей после изотермического отжига состоит из сорбитообразного перлита,  $5\div 12\%$  нерастворимых первичных и  $15\div 20\%$  растворимых вторичных карбидов (рис.9, б).

Особенностью окончательной термической обработки быстрорежущих сталей является высокотемпературный нагрев под закалку и трехкратный отпуск при  $550\div 560$  °С по 1 часу каждый (рис.10). В основе механизма упрочнения быстрорежущих сталей лежат два механизма – мартенситный и дисперсионное твердение.

При высокотемпературном нагреве под закалку вторичные карбиды растворяются в аустените, обогащая его углеродом и легирующими элементами, это является основным условием обеспечения теплостойкости. Первичные карбиды, располагаясь по границам зерен аустенита, препятствуют его росту. Температура закалки ограничивается баллом зерна, что является условием обеспечения прочности и ударной вязкости. Закалка проводится в масле. Структура после закалки: мартенсит, карбиды ( $10\div 15\%$ ) и остаточный аустенит (до  $30\%$ ) (рис.9, в).

Основная цель отпуска – обеспечить дисперсионное твердение, т.е. выделение из твердых растворов дисперсных карбидов  $\text{Me}_6\text{C}$ ,  $\text{Me}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{MeC}$ , а так же превращение остаточного аустенита в мартенсит. В процессе отпуска остаточный аустенит обедняется легирующими элементами и при последующем охлаждении превращается в мартенсит.

В результате отпуска вторичная твердость повышается до  $64\div 66$  HRC. Окончательная структура сталей состоит из отпущенного мартенсита, карбидов  $15\div 20\%$  и  $2\div 3\%$  остаточного аустенита (рис.9, г). Чтобы полностью избавиться от остаточного аустенита, можно сразу же после закалки проводят обработку холодом (рис.10).

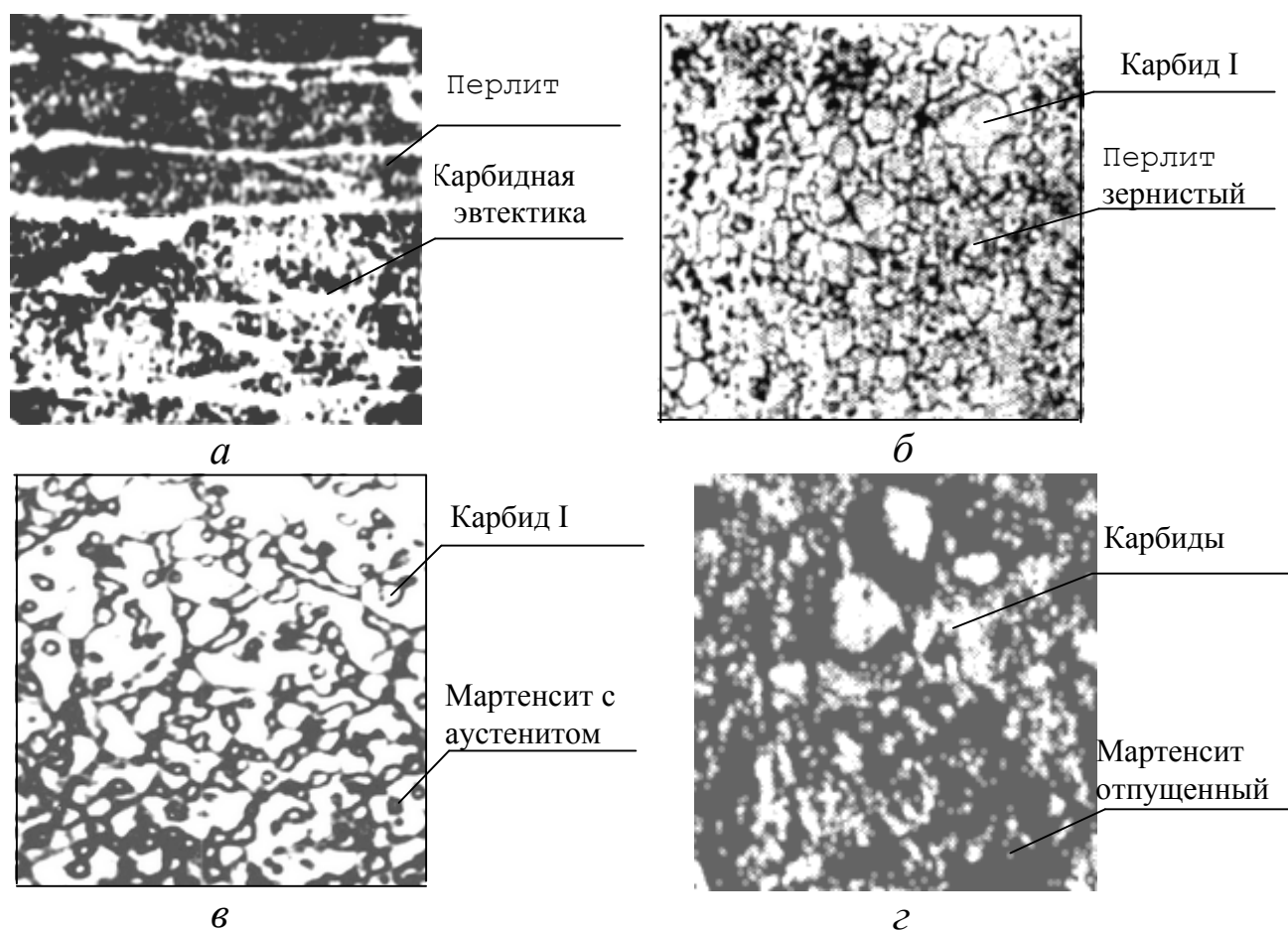


Рис. 9. Структура быстрорежущих сталей:

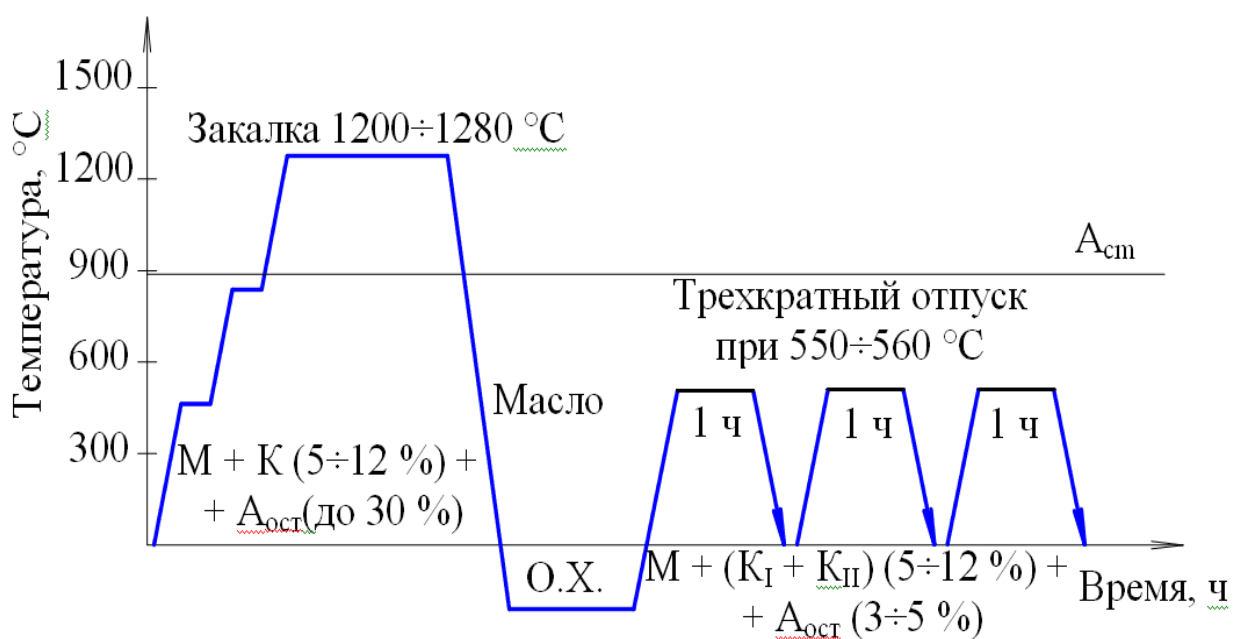
*a* – в литом состоянии; *б* – после отжига;*в* – после закалки; *г* – после закалки и трехкратного отпуска

Рис.10. Режим термической обработки быстрорежущих (теплостойких) сталей

Из быстрорежущих сталей изготавливают самый разнообразный инструмент и в том числе сложной конфигурации: резцы, сверла, метчики, фрезы, протяжки. Благодаря высокой теплостойкости и твердости, резание инструментом из этих сталей проводится на высоких скоростях.

Самыми распространенными в настоящее время являются стали умеренной теплостойкости вольфрамомолибденовые Р6М5, Р6М3 и вольфрамовые стали Р9, Р12 и Р18. Их применяют для обработки углеродистых и легированных сталей перлитного класса (до 300 НВ). Для обработки труднообрабатываемых материалов (35÷45 НРС) используют быстрорежущие стали повышенной теплостойкости с повышенным кобальтом и ванадием: Р6М5К5, Р12Ф3, Р18К5Ф2, Р9М4К8. Однако эти стали более дороги и менее технологичны: стали с кобальтом плохо куются, стали с ванадием плохо шлифуются. Стали пониженной теплостойкости Р2М2Ф3, Р0М4Ф, Р0М4 используют для деревообрабатывающего инструмента, а так же для металлорежущего с использованием поверхностного упрочнения за счет ХТО, либо нанесением покрытий TiC, TiN (прил.4).

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Познакомиться с методическими указаниями и законспектировать основные положения;

2. Изучить коллекцию микрошлифов инструментальных сталей: нетеплостойких, полутеплостойких и теплостойких в отожженном состоянии и после термической обработки с помощью металлографического микроскопа. Зарисовать структуру сталей в таблице прил. 5;

3. Используя прил. 1–5 (по ГОСТ 1435-74. ГОСТ 5950-73, ГОСТ 19265-73), вписать в таблицу химический состав, режим термической обработки, свойства и применение предложенных для рассмотрения марок сталей.

4. Ответить на контрольные вопросы.

### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие стали называют инструментальными?
2. По какому основному свойству классифицируют инструментальные стали?
3. Какие существуют группы инструментальных сталей в связи с их назначением?
4. Какие требования предъявляют к инструментальным сталям?
5. Режим термической обработки нетеплостойких углеродистых сталей, низколегированных сталей?
6. В чем заключается режим термической обработки высокохромистых штамповых сталей холодного деформирования повышенной теплостойкости типа Х12?
7. На какую структуру обрабатывают штамповые стали горячего деформирования умеренной, повышенной, высокой теплостойкости?
8. Особенности термической обработки быстрорежущих сталей.
9. С какой целью при закалке быстрорежущих сталей проводится высокотемпературный нагрев?
10. Для чего необходим трехкратный отпуск при термической обработке быстрорежущих сталей?
11. За счет чего обеспечивается высокая твердость и теплостойкость в быстрорежущих сталях?
12. Какой основной недостаток в структуре инструментальных сталей ледебуритного (карбидного) класса?
13. Какие стали можно применять для слесарного инструмента?
14. Какие стали можно рекомендовать для изготовления фрез, применяемых для обработки сталей перлитного класса?
15. Назовите марки сталей, которые хорошо себя зарекомендовали для изготовления протяжек.
16. Какие инструментальные стали хорошо себя ведут в условиях многократных нагревов до  $600 \div 700$  °С?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короткова Л. П. Инструментальные стали. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2006. – 179 с

2. Инструментальные материалы. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г. А. Воробьева [и др.]. – Санкт-Петербург, 2012. – 274 с.

[www.bibliociub.ru/124678 Instrumentainye\\_materialy\\_Uchebnoe\\_posobie.html](http://www.bibliociub.ru/124678 Instrumentainye_materialy_Uchebnoe_posobie.html)

3. Гуляев А. П. Инструментальные стали: справочник. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.

4. Арзамасов Б. Н. Материаловедение: учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МГТУ, 2004. – 648 с.

5. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

6. Зубарев, Ю. М. Современные инструментальные материалы: учебник [Электронный ресурс] / Ю. М. Зубарев. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 224 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=595](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=595).

7. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 525 с.



Основные свойства нетеплостойких сталей

Марка стали	Твердость после отжига НВ, не более	Закалка				Отпуск					
		Температура, °С		Твердость HRC		Температура, °С	Твердость HRC	$\sigma_{и}$ ( $\sigma_{в}$ ), МПа	КСУ, МДж/м <sup>2</sup> ( $\delta$ , %)	D <sub>кр</sub> , мм	
		в водном растворе	в масле и горячих средах	в водном растворе	в масле и горячих средах					вода	масло
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1. СТАЛИ ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ</b>											
Неглубокой прокаливаемости углеродистые и легированные											
У7, У7А	187	780÷800	800÷820	62÷64	59÷62	150÷160	61÷63	2000	0,15	15÷20	4÷8
У8, У8А	187	760÷780	780÷800	63÷65	60÷62	150÷160	61÷63	2100	0,15	15÷20	4÷6
У9, У9А	192	740÷760	760÷780	64÷66	61÷63	150÷160	62÷63	2100	0,15	15÷20	4÷6
У10, У10А	197	740÷760	760÷780	64÷66	61÷63	150÷160	62÷63	2400	0,15	15÷20	4÷6
У11, У11А	207	770÷780	790÷810	64÷66	–	150÷160	62÷63	2900	0,10	10÷20	4÷6
У12, У12А	207	770÷780	790÷810	64÷66	–	150÷160	62÷63	3500	0,10	10÷20	4÷6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
У13, У13А	217	770÷780	790÷810	62÷64	–	150÷160	62÷63	2300	0,10	10÷20	4÷6
8ХФ	255	810÷820	830÷860	58÷59	63÷65	180÷200	57÷58	2700	–	15÷25	5÷8
9ХФ	255	820÷840	850÷880	61÷64	61÷64	200÷250	58÷60	3600	–	15÷20	5÷8
11ХФ	229	810÷830	840÷860	62÷65	62÷64	150÷170	62÷64	2500	–	15÷25	7÷10
13Х	241	780÷820	810÷830	63÷65	62÷64	150÷170	62÷64	–	–	20÷25	10÷15
ХВГ	255	–	830÷850	–	62÷63	150÷200	63÷62	3000	(0,60)	–	–
ХВ4	285	820÷840	830÷850	65÷67	63÷65	140÷170	62÷67	(2000)	(0,20÷0,40)	–	–
В2Ф	229	–	780÷840	66÷67	66÷67	100÷180	62÷65	–	–	–	–
Повышенной прокаливаемости легированные											
9Х1	229	–	820÷850	–	61÷63	160÷180	59÷61	–	–	20÷40	6÷30
Х	229	–	840÷860	–	62÷63	130÷150	62÷65	2300	0,50	28÷54	8÷35
12Х1	241	–	850÷870	–	63÷65	120÷130	62÷65	–	–	–	–
9ХС	241	–	840÷860	–	62÷63	180÷250	58÷62	3600	0,85	42÷70	13÷35
ХГС	241	–	820÷860	–	62÷64	150÷160	61÷63	–	–	72÷100	46÷67
9ХВГ	241	–	820÷840	–	64÷66	160÷180	62÷60	–	–	–	–
ХВСГФ	241	–	840÷860	–	61÷63	140÷160	60÷62	3000	–	–	–
9Г2Ф	229	–	790÷810	–	61÷62	180	60÷61	–	–	–	–
2. СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ											
4ХС	217	–	880÷890	55	–	240÷270	52÷55	(2100)	(5,00)	–	–
6ХС	229	–	840÷860	55÷59	–	240÷270	52÷55	(2100)	(2,00)	–	–
5ХВ2СФ	229	–	860÷900	55	–	200÷250	53÷58	(1900)	(4,00)	–	–
6ХВ2С	269	–	860÷900	57	–	200÷250	53÷58	(2000)	(2,00)	–	–
6ХВГ	217	–	850÷900	56÷60	–	200÷250	57÷59	(2000)	(4,00)	–	–
6Х3МФС	241	–	980÷1020	56÷60	–	180÷200	57÷59	(2000)	(0,25)	–	–

## Основные свойства полутеплостойких штамповых сталей холодного деформирования

Марка стали	Твердость после отжига НВ, не более	Закалка		Отпуск			
		T <sub>з</sub> , °C	HRC	T <sub>отп</sub> , °C	HRC	σ <sub>и</sub> , МПа	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
X12	255	950÷970	63÷65	170÷200	60÷62	2150	0,15÷0,20
				300÷350	57÷58	2200	0,20÷0,30
X12Ф1	255	1020÷1050	62÷64	170÷200	60÷62	2500	0,25÷0,30
				400÷420	56÷58	3000	0,50÷0,60
X12МФ	255	1000÷1020	62÷64	170÷200	60÷62	2600	0,40÷0,50
				320÷350	56÷58	3100	0,60÷0,70
X12ВМФ	255	970÷1000	63÷65	170÷180	62÷63	2400	0,20÷0,30
				320÷350	58÷59	2600	0,25÷0,40
X12Ф4М	255	1070÷1090	63÷65	170÷190	61÷63	2700	0,30÷0,40
				200÷230	59÷60	3000	0,40÷0,60
X6ВФ (9X5ВФ)	241	980÷1000	63÷65	150÷170	60÷62	3000	0,70÷0,80
				280÷300	55÷57	3500	0,90÷1,00
X6Ф4М	241	980÷1010	62÷64	170÷190	60÷62	2900	0,25÷0,30
		1140÷1160	62÷63	550	62÷63	3100	0,45÷0,70
8X6НФТ	241	950÷1000	62÷63	280÷300	56÷58	–	–
				400÷420	55÷56	–	–

Примечание: T<sub>з</sub> – температура закалки. Для стали X6Ф4М с размером зерна 10÷11 отпуск проводили 3 раза по 1 ч

## Основные свойства штамповых сталей горячего деформирования

Марка стали	Твердость после отжига НВ, не более	Закалка		Отпуск			
		Температура, °С	Твердость HRC	Температура, °С	Твердость HRC	$\sigma_B$ , МПа	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
<b>УМЕРЕННОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ И ПОВЫШЕННОЙ ВЯЗКОСТИ</b>							
5XHM	241	840÷860	56÷60	500÷550	38÷41	1400	0,50
5XHB	255	840÷860	56÷59	520÷550	38÷42	1200	0,70
5XGM	241	820÷850	53÷59	480÷540	38÷41	1400	0,40
4XMΦC	241	910÷930	53÷55	580÷600	44÷46	1600	0,60
4X3BMΦ	241	1040÷1060	52÷54	560÷580	47÷49	1750	0,50
5X2MHΦ	255	960÷980	58÷59	590÷610	45÷48	1800	0,40
<b>ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ И ПОВЫШЕННОЙ ВЯЗКОСТИ</b>							
4X5B2ΦC	241	1030÷1050	53÷56	560÷580	47÷49	1800	0,35
4X4BMΦC	241	1050÷1070	55÷61	620÷630	47÷50	1900	0,40
4X5MΦC	241	1000÷1020	50÷52	530÷560	47÷49	1800	0,60
4X5MΦ1C	241	1020÷1040	51÷54	560÷580	47÷50	1800	0,35
4X2B2MΦC	241	1080÷1100	56÷58	650÷670	42÷46	1900	0,40
<b>ВЫСОКОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ</b>							
3X3M3Φ	229	1030÷1050	47÷50	580÷600	47÷48	1700	0,30
3X2B8Φ	241	1070÷1100	48÷52	600÷620	42÷48	1600	0,25
4X2B5MΦ	241	1050÷1080	48÷51	630÷660	42÷46	1700	0,30
2X6B8M2K 8	241	1180÷1220	52÷54	660÷680	54÷56	1700	0,30
5X3B3MΦC	241	1120÷1150	53÷56	660÷680	42÷46	1700	0,30

## Основные и технологические свойства быстрорежущих сталей

Марка стали	Основные свойства после упрочняющей термообработки							Технологические свойства	
	Твердость после отжига НВ, не более	T <sub>з</sub> , °С	T <sub>отп</sub> , °С	Твердость HRC, не менее	Теплостойкость HRC 59 при отпуске 4 ч, °С	σ <sub>и</sub> , МПа	KCU, МДж/м <sup>2</sup>	Вязкость	Шлифуемость
P2AM9K5	285	1190÷1220	550÷560	64	630	1600÷1900	0,20÷0,22	Хорошая	Пониженная
P6M3	255	1200÷1230	540÷560	62	620	3200÷3600	0,50	Хорошая	Пониженная
P6M5	255	1200÷1230	540÷560	63	620	3200÷3600	0,38÷0,40	Пониженная	Хорошая
P6M5Ф3	269	1200÷1240	540÷560	64	630	2700÷3100	0,20÷0,25	Хорошая	Хорошая
P6M5K5	269	1210÷1240	550÷570	64	630	2600÷2900	0,24÷0,28	Хорошая	Хорошая
P9	255	1230÷1260	560	62	620	2800÷3100	0,30÷0,35	Удовлетворительная	Пониженная
P9K5	260	1220÷1250	550÷570	63	630	2300÷2700	0,22÷0,30	Пониженная	Пониженная
P9M4K8	285	1210÷1240	550÷560	64	630	2300÷2500	0,18÷0,20	Пониженная	Пониженная
P12	255	1230÷1250	550÷570	63	620	2600÷3500	0,30	Хорошая	Хорошая
P12Ф3	269	1230÷1270	550÷570	63	630	2500÷2900	0,25÷0,28	Хорошая	Пониженная
P18	255	1270÷1290	560	62	630	2700÷3000	0,28÷0,30	Хорошая	Пониженная
P18K5Ф2	285	1280÷1290	570	63	640	2600÷2700	0,20÷0,22	Пониженная	Хорошая
11P3AM3Ф2	255	1180÷1210	540÷580	63	620	3400÷3800	0,32÷0,40	Пониженная	Пониженная

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Марка стали	Хим. состав	Класс стали	Структура в равновесном состоянии	Упрочняющая термическая обработка	Структура после термической обработки	Балл карбидной неоднородности, балл зерна	Свойства	Примечание
-------------	-------------	-------------	-----------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	---	----------	------------

## Составители

Лидия Павловна Короткова  
Светлана Викторовна Лащина

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине  
«Материаловедение» для студентов направлений 15.03.05. (151900.62)  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств», 15.03.01. (150700.62)  
«Машиностроение», 27.03.02. (241000.62)  
«Энерго-и ресурсосберегающие процессы химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»; по дисциплине «Основы  
материаловедения» направления 27.03.02. (221400.62)  
«Управление качеством»  
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 08.12.2014. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,2.

Тираж 50 Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.